

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-287370

(43)Date of publication of application : 03.10.2002

(51)Int.Cl.

G03F 7/20

G02B 3/00

G02B 3/08

G02B 5/02

G02B 5/18

// G03F 7/40

(21)Application number : 2001-089860

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 27.03.2001

(72)Inventor : KICHISE KOJI  
YABE HIDETAKA  
MARUMOTO KENJI  
AYA ATSUSHI

## (54) METHOD FOR MANUFACTURING OPTICAL ELEMENT

(a)



(b)



(c)



(d)



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical element such as a lens for a wide wavelength range having the lens thickness which can be used for a wide wavelength range with high accuracy at a low cost.

SOLUTION: The method for manufacturing an optical element 10 includes a process of preparing an optical element member 1, a process of forming a resist film 2 on at least one surface of the optical element member, a process of forming a three-dimensional resist pattern by irradiating the resist film with light 22 at wavelengths equal to or shorter than UV rays from a light source through a light absorbing body 11 having a form corresponding to the optically functional optical face, and a process of etching the optical member while using the resist pattern as a mask.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-287370

(P2002-287370A)

(43) 公開日 平成14年10月3日 (2002.10.3)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 3 F 7/20	5 0 1	G 0 3 F 7/20	5 0 1 2 H 0 4 2
	5 0 2		5 0 2 2 H 0 4 9
G 0 2 B 3/00		G 0 2 B 3/00	Z 2 H 0 9 6
3/08		3/08	2 H 0 9 7
5/02		5/02	B
審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 11 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-89860(P2001-89860)

(22) 出願日 平成13年3月27日 (2001.3.27)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 吉瀬 幸司

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 矢部 秀毅

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100062144

弁理士 青山 葆 (外2名)

最終頁に続く

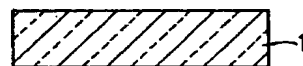
(54) 【発明の名称】 光学素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 広範囲の波長帯域にわたって利用可能なレンズ厚みを持つ広波長帯域用レンズ等の光学素子を高精度で、且つ、低コストで提供する。

【解決手段】 光学素子10の製造方法は、光学素子部材1を用意する工程と、前記光学素子部材の少なくとも一方の表面上にレジスト膜2を形成する工程と、光源から紫外光の波長以下の波長を有する光22を、光学的に機能する光学面に対応する形状を備えた光吸収体11を介して前記レジスト膜に照射して、3次元形状のレジストパターンを形成する工程と、前記レジストパターンをマスクとして前記光学素子部材をエッチングする工程とを含む。

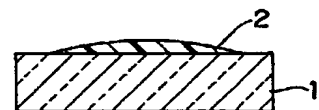
(a)



(b)



(c)



(d)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学素子部材を用意する工程と、前記光学素子部材の少なくとも一方の表面上にレジスト膜を形成する工程と、光源から紫外光の波長以下の波長を有する光を、光学的に機能する光学面に対応する形状を備えた光吸収体を介して前記レジスト膜に照射して、3次元形状のレジストパターンを形成する工程と、前記レジストパターンをマスクとして前記光学素子部材をエッチングする工程とを含むことを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項2】 前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光源からの光が透過する方向の膜厚分布を変化させた光吸収体を用いることを特徴とする請求項1に記載の光学素子の製造方法。

【請求項3】 前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光源からの光が透過する方向の密度分布を変化させた光吸収体を用いることを特徴とする請求項1又は2に記載の光学素子の製造方法。

【請求項4】 前記光学素子が対象とする光の波長は、 $0.1\mu\text{m}$ 以上、且つ、 $30\mu\text{m}$ 以下の範囲内であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の光学素子の製造方法。

【請求項5】 前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視パターンを有する光吸収体を用いて、前記巨視パターンに対応する巨視形状を有する前記レジストパターンを形成すると共に、前記エッチングの工程において、前記光学素子部材の表面に、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視構造を形成することを特徴とする請求項4に記載の光学素子の製造方法。

【請求項6】 前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光学素子が対象とする光の波長以下の微細パターンを形成した光吸収体を用いて、前記微細パターンに対応する微細形状を有するレジストパターンを形成すると共に、前記エッチングの工程において、前記光学素子部材の表面に、前記光学素子が対象とする光について反射防止効果を有し、前記対象とする光の波長以下の微細構造を形成することを特徴とする請求項4に記載の光学素子の製造方法。

【請求項7】 前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視パターン内に、前記対象とする光の波長以下の微細パターンを重畳させた重畳パターンを有する光吸収体を用い、前記重畳パターンに対応した重畳形状を有する前記レジストパターンを形成すると共に、

前記エッチングの工程において、前記重畳形状に対応して、前記光学素子部材の表面に、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視構造内に前記対象とする光の波長以下の微細構造を重畳させた重畳構造を形成することを特徴とする請求項4に記載の光学素子の製造方法。

【請求項8】 前記微細パターンは、前記対象とする光の波長以下の周期を有することを特徴とする請求項6又は7に記載の光学素子の製造方法。

10 【請求項9】 前記レジストパターンの形成工程において、用いる前記光の波長は、 $0.1\text{nm}$ 以上、且つ、 $5\text{nm}$ 以下の範囲であることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項に記載の光学素子の製造方法。

【請求項10】 前記少なくとも一方の光学面は、光学素子の光入射面又は光出射面であることを特徴とする請求項1から9のいずれか一項に記載の光学素子の製造方法。

20 【請求項11】 前記光学素子は、レンズ、プリズム、フレネルレンズ、反射型レンズのうちの少なくとも一つであることを特徴とする請求項1から10のいずれか一項に記載のレンズの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学素子、特に、レンズ、プリズム、フレネルレンズ、反射型レンズ等に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、赤外線用レンズ、紫外線用レンズ、プリズム等の光学素子は、Ge、ガラス、石英、螢石( $\text{CaF}_2$ )等を機械加工して作製されている。このような機械加工は困難であり、コストも高く、また、加工の際に加わる応力のために破損する場合もあった。

【0003】近年、半導体装置の製造技術として、フォトリソグラフィ法を用いてレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとしてエッチングすることで微細加工を行う技術が発達している。そこで、このフォトリソグラフィ法を光学素子の製造に用いることが試みられている。例えば、複数回のレジストパターン形成と、エッチングとを繰り返してレンズ形状を形成するバイナリエッチング法が用いられている(塩野照弘、「高効率回折光学素子の作製技術」、応用物理、(1999)、第68巻、第633頁～第638頁)。このバイナリエッチング法は、特定の波長の光に対してのみ機能する位相型のゾーンプレート作製に用いられている。また、この先行技術文献には、電子ビームの照射量を制御してマイクロレンズを作成する電子ビーム描画法が記載されている。

【0004】また、従来、透過型レンズの透過率を向上させるため、反射防止膜をスパッタ法などでレンズ表面に形成している。この反射防止膜を設けない場合、例え

ば、入力光に対して約50%程度の出力光しか得られない場合がある。また、このような反射防止膜を形成するのではなく、表面に微細構造を形成し、反射防止効果を持たせる反射防止膜の形成方法が知られている（特開平2000-258607号公報）。この先行技術文献では、物体表面に薄膜形成の過程における核成長による核を島構造で形成し、この島構造をエッチングマスクとして表面をエッチングし、微細な凹凸を形成して反射防止効果を有する微細構造を形成している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記フォトリソグラフィ法では、焦点深度が浅く、寸法解像度が低いことから、レジストパターン形成とエッチングを1回行うだけではレンズ厚さ100 $\mu\text{m}$ 以上の構造のレンズ形状を形成することは困難である。また、複数回のレジストパターン形成とエッチングとを繰り返す上記バイナリエッチングで厚さ数 $\mu\text{m}$ 程度の位相型ゾーンプレート（薄いフレネルレンズ）の作製は可能であるが、少なくとも数十 $\mu\text{m}$ から数百 $\mu\text{m}$ 程度のレンズ厚さを必要とする広波長帯域用レンズを作製するには、フォトリソグラフィでは焦点深度が浅く、寸法解像性が低く、また、露光によるレジストパターン形成とエッチングとを2<sup>nd</sup>回繰り返すため、形状誤差が積み重なってレンズ性能の低下を招き、コストもかかるため、上記広波長帯域用レンズの作製は困難である。さらに、電子ビームによる描画の場合には時間がかかる。

【0006】また、レンズ等の光学素子の表面に設ける反射防止膜として、適切な屈折率を有する材料が乏しく、この反射防止膜内での吸収率は比較的大きい。さらに、反射防止膜の材質によっては洗浄できない場合がある。

【0007】そこで、本発明の第1の目的は、広範囲の波長帯域にわたって利用可能なレンズ厚みを持つ広波長帯域用レンズ等の光学素子を高精度で、且つ、低コストで提供することである。

【0008】また、本発明の第2の目的は、レンズ表面に反射防止効果を有し、吸収率の小さい反射防止膜を簡易に形成した光学素子を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光学素子の製造方法は、光学素子部材を用意する工程と、前記光学素子部材の少なくとも一方の表面上にレジスト膜を形成する工程と、光源から紫外光の波長以下の波長を有する光を、光学的に機能する光学面に対応する形状を備えた光吸収体を介して前記レジスト膜に照射して、3次元形状のレジストパターンを形成する工程と、前記レジストパターンをマスクとして前記光学素子部材をエッチングする工程とを含むことを特徴とする。

【0010】また、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記レジストパ

ターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光源からの光が透過する方向の膜厚分布を変化させた光吸収体を用いることを特徴とする。

【0011】さらに、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光源からの光が透過する方向の密度分布を変化させた光吸収体を用いることを特徴とする。

【0012】またさらに、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記光学素子が対象とする光の波長は、0.1 $\mu\text{m}$ 以上、且つ、30 $\mu\text{m}$ 以下の範囲内であることを特徴とする。

【0013】また、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視パターンを有する光吸収体を用いて、前記巨視パターンに対応する巨視形状を有する前記レジストパターンを形成すると共に、前記エッチングの工程において、前記光学素子部材の表面に、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視構造を形成することを特徴とする。

【0014】さらに、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光学素子が対象とする光の波長以下の微細パターンを形成した光吸収体を用いて、前記微細パターンに対応する微細形状を有するレジストパターンを形成すると共に、前記エッチングの工程において、前記光学素子部材の表面に、前記光学素子が対象とする光について反射防止効果を有し、前記対象とする光の波長以下の微細構造を形成することを特徴とする。

【0015】またさらに、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記レジストパターンを形成する工程において、前記光吸収体として、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視パターン内に、前記対象とする光の波長以下の微細パターンを重畳させた重畳パターンを有する光吸収体を用い、前記重畳パターンに対応した重畳形状を有する前記レジストパターンを形成すると共に、前記エッチングの工程において、前記重畳形状に対応して、前記光学素子部材の表面に、前記光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視構造内に前記対象とする光の波長以下の微細構造を重畳させた重畳構造を形成することを特徴とする。

【0016】また、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記微細パターンは、前記対象とする光の波長以下の周期を有することを特徴とする。

【0017】さらに、前記レジストパターンの形成工程において、用いる前記光の波長は、0.1 $\text{nm}$ 以上、且

つ、5nm以下の範囲であることを特徴とする。

【0018】またさらに、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記少なくとも一方の光学面は、光学素子の光入射面又は光出射面であることを特徴とする。

【0019】また、本発明に係る光学素子の製造方法は、前記光学素子の製造方法であって、前記光学素子は、レンズ、プリズム、フレネルレンズ、反射型レンズのうちの少なくとも一つであることを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態に係る光学素子の製造方法について、図1から図13を用いて以下に説明する。なお、以下の実施の形態では光学素子として、レンズ及びフレネルレンズについて説明しているが、これに限られず、プリズム、凹レンズ、反射型レンズ等の光学素子にも適用できる。

【0021】実施の形態1. 本発明の実施の形態1に係る光学素子の製造方法は、次の各工程を含んでいる。

(1) 光学素子部材を用意する。

(2) 光学素子部材の少なくとも一方の表面上にレジスト膜を形成する。

(3) 光源から紫外光の波長以下の波長の光を、光学的に機能する光学面に対応する形状を備えた光吸収体を介して上記レジスト膜に照射して3次元形状のレジストパターンを形成する。

(4) 上記レジストパターンをマスクとして光学素子部材をエッチングする。

この光学素子の製造方法によって、最大厚さが100μm程度の光学素子についても1回のレジストパターン形成と、1回のエッチングとで形成することができる。

【0022】具体的には、この光学素子の製造方法は、概略的には図1に示すように、以下の手順からなる。

(a) まず、レンズ材料1として、シリコン板を用意する(図1(a))。ここで、レンズ材料としては、上記シリコン以外に、例えば、ゲルマニウム(Ge)、石英(SiO<sub>2</sub>)、蛍石(CaF<sub>2</sub>)、ガラス等の通常のレンズ材料を用いることができる。

(b) 次に、シリコン板1上にポリメチルメタアクリレート(PMMA)からなるレジスト膜2を塗布する(図1(b))。このレジスト膜2としては、PMMAの他、例えば、SU8を用いてもよい。また、レジスト膜は、ポジレジスト、ネガレジストのいずれであってもよい。

(c) 次いで、図2に示すX線露光システムを用いて、光源から紫外光の波長以下の波長の光を、光学的に機能する光学面に対応する形状を備えた光吸収体を介してレンズ材料1の上のレジスト膜2に照射して、3次元形状のレジストパターンを形成する(図1(c))。この方法は、いわゆるX線リソグラフィ法と呼ばれる。この詳細内容については後述する。ここで、光学的に機能する

光学面とは、例えば、レンズ、凹レンズ、プリズム、フレネルレンズ、反射型レンズ等の機能を有する面をいうが、上記例示したものに限られない。

(d) さらに、上記レジストパターンをマスクにしてエッチングを行って一方の面が凸レンズ形状であるレンズ10を形成する(図1(d))。

【0023】さらに、この光学素子の製造方法のうち、光学素子部材の表面に3次元形状のレジストパターンを形成する工程について、図2を用いて以下に詳述する。

10 なお、ここで、製造する光学素子はレンズである。

【0024】まず、上記X線リソグラフィ法とは、真空紫外からX線領域(波長0.1nm~5nm)の光源を用いて、対象物に微細パターンを形成する技術である。特に、深い焦点深度、高い微細パターン形成能力、高スループット、物質に対する高い透過率という特徴を持つ。光源の波長は、0.1nm以上、且つ、5nm以下の範囲内であり、好ましくは波長2nm以下である。なお、この場合に波長とは光の中心波長を意味する。また、X線光源としては、シンクロトロン放射光を用いてもよい。

【0025】次に、このX線リソグラフィ法による3次元形状のレジストパターンを形成する工程について、図2を用いて説明する。この工程では、シンクロトロン放射光を光学的に機能するレンズ形状に合わせて形成された3次元形状の光吸収体11を透過させて、レンズ材料1上のレジスト膜2を感光させる。ここで、光吸収体11は、図2に示すように、メンブレン12に取り付けられており、さらに、このメンブレン12はシリコン製リング13とサポートリング14とで保持され、X線マスク20を構成している。また、この光吸収体11の中心付近は厚く、周辺部に向かって薄くなるように変化させているので、透過するX線の強度は、光吸収体11の中心付近で弱く、周辺部で強くなる。上記のように光吸収体11の膜厚は、中心を厚く、周辺部に向かって徐々に薄く変化させているので、レジスト膜2内において蓄積されるエネルギーは上記光吸収体11の形状に対応して変化する。また、この光吸収体11の材料は、例えば、タングステン、タンタル、金等である。ここで、このレジスト膜2はポジレジストであるので、一定のしきい値以上のエネルギーを吸収したレジスト膜2の部分は現像後に除去される。そのため、現像後には、光吸収体11の形状に対応した3次元形状のレジストパターンが形成される。なお、ネガレジストを用いる場合には、光吸収体11として、中心を薄くし、周辺部に向かって厚く変化させておくことによって凸レンズ形状のレジストパターンを形成することができる。

【0026】次いで、レンズ部材1の表面に形成するレジストパターンと光吸収体11との関係について説明する。一般に、次のエッチング工程において、単位時間当たりにレジスト膜2がエッチングされる厚さに対してレ

レンズ部材1がエッチングされる厚さの比は、選択比といわれる。ここで、レンズ厚さとして500 $\mu$ m必要な場合であって、選択比が4の場合を考える。最も厚いレンズ中心上のレジスト膜2が完全にエッチングされた際に、レンズ周辺部分で500 $\mu$ mの深さまでエッチングするには、選択比が4であるから、およそ125 $\mu$ mの厚さのレジスト膜2をあらかじめ形成しておく必要がある。そこで、光吸収体11として、所定厚さのレジスト膜2が現像後に残存するように、あらかじめ膜厚分布を変化させた光吸収体11を用いるのが好ましい。また、光吸収体11は、透過する光の方向の膜厚分布を変化させておくことがさらに好ましい。さらに、光吸収体11は、レジストパターンが所定のレンズ形状となるように所定の曲面形状を有することが好ましい。

【0027】なお、例えば、このX線リソグラフィ法を用い、吸収体膜厚を多段形状としたX線マスクを用いて、このX線マスクの形状に対応した多段形状のポリメチルメタアクリレート(PMMA)からなるレジストパターンを形成することが報告されている(S. カブリニ他(S. Cabrini et al), 「3D Microstructures Fabricated By Partially Opaque X-Ray Lithography Masks」、Microelectronic Engineering, (2000), Vol.53, pp599-602)。

【0028】さらに、この光学素子の製造方法のうち、3次元形状のレジストパターンをマスクにしてレンズ部材をエッチングする工程について、以下に説明する。このエッチング工程において、エッチング方法としては、通常のエッチング方法を使用できる。なお、単位時間当たりレジスト膜がエッチングされる厚さに対してレンズ部材がエッチングされる厚さの比である選択比が小さいとレジスト膜の厚みが大きくなる。このエッチング工程では、3次元形状のレジストパターンをマスクとして、エッチングを行うことによって、レジストパターンの膜厚に対応した深さまでエッチングが行われる(図1(d))。これにより3次元レジストパターンに対応した高精度のレンズ形状を有するレンズが低コストで得られる。

【0029】また、この光学素子の製造方法によって得られる光学素子の特性について説明する。この場合、この光学素子は、図1の(d)に示すように、凸レンズ形状であって、シリコンからなり、直径26mm、凸状の下面から上面までの最大厚みが500 $\mu$ mである。さらに、この光学素子が対象とする光の波長は、その下限値は、好ましくは5 $\mu$ m以上、さらに好ましくは、8 $\mu$ m以上である。また、その上限値は、好ましくは15 $\mu$ m以下、さらに好ましくは12 $\mu$ m以下である。なお、シリコン以外のレンズ材料を用いた場合には、異なる波長領域、例えば、0.1 $\mu$ m以上、且つ、30 $\mu$ m以下の範囲で使用できる光学素子を得ることができる。

【0030】実施の形態2. 本発明の実施の形態2に係

る光学素子の製造方法は、3次元形状のレジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光が透過する方向の密度分布を変化させた光吸収体を用いている。これによって、光吸収体の設計を容易に行うことができると共に、光吸収体の密度分布に対応する高精度の3次元レジストパターンを得ることができる。

【0031】この光学素子の製造方法は、実施の形態1に係る光学素子の製造方法と比較すると、図3に示すように、レジストパターンを形成する工程において、光吸収体11として、柱状の吸収体の密度分布を変化させた光吸収体11を用いている点で相違する。具体的には、この光吸収体11は、図3に示すように、所定の密度分布で分布させた複数の直径約40nmの柱状体からなる。また、この光吸収体11は、レンズ材料の中央部で上記柱状体の数密度が高くなるようにし、周辺部に向けて徐々に数密度が減少するように分布させている。このように一つの柱状体の直径が40nmと微細なために、レジスト膜上には柱状体の密度分布に対応した連続的な像を形成する。即ち、柱状体の数密度が高い中央部では透過するX線強度は弱く、柱状体の数密度が低い周辺部では透過するX線強度は強くなる。個々の柱状体は、レジスト膜上にコントラストを生じないように、直径を100nm以下にするのが好ましい。また、柱状体は円柱体に限られず、四角柱、三角柱の他、断面が多角形の柱状体であってもよい。さらに、四角錐、三角錐、円錐等の錐体であってもよい。なお、光が透過する方向の吸収体の密度分布を変化させる方法としては、上記のように柱状の吸収体の数密度分布を変化させる場合に限られず、例えばライン状の吸収体の粗密分布によって変化させてもよい。

【0032】なお、光吸収体11とレンズ材料1との間を所定間隔に調整することで、個々の柱状体についてのコントラストを生じないようにできる。例えば、光吸収体11として、直径50nmの柱状吸収体を50nmの間隔で配列させた場合、光吸収体11とレンズ材料1との間の間隔と透過X線強度との関係を考える。上記間隔を約20 $\mu$ mとした場合には、レンズ材料1の上でのX線強度はわずかなコントラストを生じる。ここで、コントラストは、最大強度 $I_{max}$ と最小強度 $I_{min}$ について、 $(I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$ で表わされ、上記の場合でもコントラストは約0.1程度である。一般に、コントラストが約0.5以上の場合にはレジストパターンとして表れるので、上記のコントラストが0.1の場合には、通常、レジストパターンとして表れない。一方、上記間隔を600 $\mu$ mとすると、柱状吸収体の配列によるコントラストはほとんど生じない。そこで、レジストパターンに柱状吸収体の配列によるコントラストの影響を実質的に除去するために、光吸収体11とレンズ材料1との間の間隔は、図8に示すように、好ましくは20 $\mu$ m以上である。ま

た、好ましくは600 $\mu\text{m}$ 以下である。

【0033】実施の形態3. 本発明の実施の形態3に係る光学素子の製造方法は、光学素子としてフレネルレンズを対象としている。所定形状の光吸収体を用いることでフレネルレンズ形状のレジストパターンを形成することができ、1回のエッチングで高精度のフレネルレンズを形成することができる。

【0034】この光学素子の製造方法は、実施の形態1に係る光学素子の製造方法と比較すると、図4に示すように、最大厚みが100 $\mu\text{m}$ のフレネルレンズを対象としている点で相違する。具体的には、レジストパターンを形成する工程において、フレネルレンズ形状に対応する形状の光吸収体（図示せず）を用いる。これによって、フレネルレンズ形状のレジストパターンを形成し（図4（c））、このレジストパターンをマスクとしてエッチングすることでフレネルレンズを形成する（図4（d））。

【0035】実施の形態4. 本発明の実施の形態4に係る光学素子の製造方法は、3次元形状のレジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光学素子が対象とする光の波長以下の周期を有する微細パターンを有する光吸収体を用いている。この光吸収体に形成した微細パターンによって、レジストパターンとして対応する微細構造を形成することができる。さらに、次のエッチング工程で上記微細構造を有するレジストパターンをマスクとしてエッチングすることで、レンズ表面に反射防止効果を有し、光学素子が対象とする光の波長以下の微細構造を形成することができる。

【0036】この光学素子の製造方法は、実施の形態1に係る光学素子の製造方法と比較すると、図5に示すように、3次元形状のレジストパターンを形成する工程において、光吸収体11として、光学素子に入射する光の波長以下の周期を有する微細パターンを有する光吸収体11を用いている点で相違する。さらに、図5の（c）に示すように、上記の光吸収体11の微細パターンに対応した微細構造を有する3次元レジストパターンを形成している点で相違する。具体的には、この光吸収体11は、膜厚が1 $\mu\text{m}$ であって、凹凸の間隔を1 $\mu\text{m}$ とした周期的な凹凸パターンを有している。この凹凸パターンは、ライン&スペース（line&space）パターンとも呼ばれる。この光吸収体11に形成する微細パターンとしては、ライン&スペースパターンの他、コンタクトホール、市松模様等であってもよい。また、この微細パターンは、光学素子が対象とする光の波長以下の構造を有していればよく、周期性を有しないものでもよい。なお、微細パターンとしては、対象とする波長以下の周期パターンを形成することによって簡易に形成できる。

【0037】次に、この光学素子の製造方法において、上記レジストパターンを形成する工程について、図5を用いて説明する。上記微細パターンを有する光吸収体1

1を用い、X線リソグラフィ法により、上記微細パターンに対応した微細形状を有するレジストパターンが得られる（図5（c））。このレジストパターンの厚さは、上記実施の形態1で詳述した通り、次のエッチング工程でのエッチングにおける選択比に対応する厚みとしておく。

【0038】また、この光吸収体11に形成した微細パターンと、該微細パターンに対応して形成されるレジストパターンとの関係について説明する。まず、この光吸収体11とレンズ材料1との間隔を変化させて、レンズ材料1上において観測した透過X線強度のプロファイルを図8に示す。このプロファイルは、光吸収体の凹凸パターンと対応させて示している。この図8に示すように、光吸収体11とレンズ材料1との間隔が20 $\mu\text{m}$ ～600 $\mu\text{m}$ の間では像の反転等を生じておらず、光吸収体11の下部では透過強度が弱く、光吸収体11のない部分では透過するX線強度が強い。従って、一度の露光でレジストパターンを形成することができる。これは、X線リソグラフィ法では焦点深度が深く、微細パターンの形成が可能という特長に由来する。なお、図8でレジストのX線吸収エネルギーが0.4のところを現像のしきい値とすると、光吸収体11とレンズ材料1との間隔に依存せずばほぼ同一の寸法のレジストパターンが得られる。一方、現像のしきい値を0.6とすると、上記間隔によってレジストパターンの寸法が異なる。この場合には光吸収体11とレンズ材料1との間隔によって光吸収体11の形状を調整しておく必要がある。

【0039】さらに、光吸収体11の膜厚と、この光吸収体11を透過したX線の強度との関係について説明する。光吸収体11の膜厚を変化させて、レンズ材料1上において観測した透過X線強度のプロファイルを図9に示す。このプロファイルは、光吸収体11の凹凸パターンと対応させて示している。図9に示すように、光吸収体11の膜厚が0.3 $\mu\text{m}$ の場合には光吸収体11の下部にもX線がわずかであるが漏れている。また、膜厚が1.0 $\mu\text{m}$ 以上の場合にはサブピークを含まない。最適な光吸収体11の膜厚はレジストプロセスによって異なる。例えば、光吸収体11とレンズ材料1との間隔を600 $\mu\text{m}$ 、光吸収体11のパターンサイズを1 $\mu\text{m}$ とする場合には、光吸収体11の膜厚は、好ましくは0.8 $\mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは1.0 $\mu\text{m}$ 以上である。

【0040】次に、この光学素子の製造方法において、レンズ材料1をエッチングする工程について説明する。上記微細形状を有するレジストパターンをマスクとしてレンズ材料1をエッチングすると、レンズ表面に、レジストパターンの上記微細形状に対応した微細構造4が形成される（図5（d））。この微細構造4は、レンズが対象とする光の波長以下の構造を有し、レンズ10の表面に形成された凹凸パターンからなる（図6）。また、

この微細構造によって、所定厚みの中でレンズ材料1の部分と空気(屈折率1)とを分布させてレンズ材料の密度を調整し、反射防止効果を有する屈折率に調整している。具体的には、レンズ材料の屈折率 $n$ について、微細構造の所定厚みの屈折率を実質的に $(n \times 1)^{0.5}$ と等しくなるように調整することで、反射率を低下させることができる。具体的には、表面に間隔が $1\mu\text{m}$ の市松模様の微細構造を形成したシリコンからなる板状体と、表面に微細構造を形成していない板状体とについて、観測された入射光の透過率を図9に示す。図9に示すように、赤外領域の波長 $12\mu\text{m}$ の光について、片側の表面に微細構造のない板状体の透過率は5%であるのに対し、表面に微細構造を形成した板状体の透過率は72%である。このように表面に形成した微細構造によって十分な反射防止効果が得られる。

【0041】実施の形態5. 本発明の実施の形態5に係る光学素子の製造方法は、光学素子としてフレネルレンズを対象としている。所定形状の微細パターンを有する光吸収体を用いることでフレネルレンズ上にレンズに入射する光の波長以下の微細形状を有するレジストパターンを形成する。このレジストパターンをマスクとしてエッチングして、フレネルレンズの表面にレンズが対象とする光の波長以下の微細構造を形成することができる。

【0042】この光学素子の製造方法は、実施の形態4に係る光学素子の製造方法と比較すると、図10に示すように、最大厚みが $100\mu\text{m}$ のフレネルレンズ10aを対象としている点で相違する。具体的には、レジストパターンを形成する工程において、対象とする光の波長以下の微細パターンを形成した光吸収体(図示せず)を用いる。これによって、上記光吸収体の微細パターンに対応する微細形状を有するレジストパターンを形成し(図10(c))、この微細形状を有するレジストパターンをマスクとしてレンズ材料をエッチングすることで、フレネルレンズの表面に対象とする光の波長以下の微細構造を形成できる(図10(d))。

【0043】実施の形態6. 本発明の実施の形態6に係る光学素子の製造方法は、レジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視パターン内に、対象とする光の波長以下の微細パターンを重畳させた重畳パターンを有する光吸収体を用いている。この重畳パターンを有する光吸収体を用いて、X線リソグラフィ法により、該重畳パターンに対応した重畳形状を有する前記レジストパターンを形成することができる。次いで、エッチングの工程において、上記重畳形状に対応して、光学素子の表面に、対象とする光の波長より大きい巨視構造内に、反射防止効果を有し、対象とする光の波長以下の微細構造を重畳させた重畳構造を形成することができる。

【0044】この光学素子の製造方法は、実施の形態1に係る光学素子の製造方法及び実施の形態4に係る光学

素子の製造方法と比較すると、図11に示すように、凸レンズ形状の巨視構造と、レンズ表面の凹凸からなる微細構造とを重畳させて同時に形成している点で相違する。具体的には、レジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、対象とする光の波長より大きい凸レンズ形状パターン内に、対象とする光の波長以下の凹凸パターンを重畳させた重畳パターンを有する光吸収体(図示せず)を用いている。これによって、この重畳パターンに対応する重畳形状を有するレジストパターンを形成でき(図11(c))、このレジストパターンをマスクとしてエッチングして、光学的に機能する巨視構造である凸レンズ形状を形成すると共に、該レンズ10の表面に対象とする光の波長以下の微細構造である凹凸パターンを重畳させて同時に形成することができる(図11(d))。

【0045】実施の形態7. 本発明の実施の形態6に係る光学素子の製造方法は、光学素子としてフレネルレンズを対象としている。この光学素子の製造方法では、レジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、フレネルレンズ形状の巨視パターン内に対象とする光の波長以下の微細パターンを重畳させた重畳パターンを有する光吸収体を用いている。これによって、フレネルレンズの表面にレジストパターンを形成する場合に比べて、高精度に微細形状を有するレジストパターンを形成できる。そのため、このレジストパターンをマスクとしてエッチングするので、巨視構造であるフレネルレンズ形状を形成すると共に、該レンズ表面に対象とする光の波長以下の凹凸パターンからなる微細構造を重畳させて同時に形成できる。

【0046】この光学素子の製造方法は、実施の形態6に係る光学素子の製造方法と比較すると、図12に示すように、対象となる光学素子10がフレネルレンズである点で相違する。

【0047】実施の形態8. 本発明の実施の形態8に係る光学素子の製造方法は、紫外光の波長以下の光源からの光を、光学的に機能する光学面に対応する形状を備えた光吸収体を介して光学素子部材の一方の表面上のレジスト膜に照射して、3次元形状のレジストパターンを形成する工程と、上記レジストパターンをマスクとして上記光学素子部材をエッチングする工程とを、光学素子の光入射面と光出射面のそれぞれについて順次行っている。これによって、両面レンズを製造している。なお、両面レンズとすることで、片面レンズの場合に比べて片面部分の厚さを薄くできる。

【0048】この光学素子の製造方法は、実施の形態1に係る光学素子の製造方法と比較すると、図13の(a)及び(b)の断面図に示すように、光学素子の光入射面と光出射面の両面について光学面を順次作製している点で相違する。図13の(a)は、両面に凸レンズ形状を形成した両面レンズ10bの断面図であり、



(b)は両面にフレネルレンズを形成した両面フレネルレンズ10cの断面図である。

#### 【0049】

【発明の効果】本発明に係る光学素子の製造方法によれば、紫外光の波長以下の光を光学的に機能する光学面に対応する光吸収体を介して光学素子部材の少なくとも一方の表面上のレジスト膜に照射して3次元形状のレジストパターンを形成している。これによって1回のエッチングで高精度なレンズ形状を得ることができる。

【0050】また、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、3次元形状のレジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光が透過する方向の膜厚分布を変化させた光吸収体を用いている。これによって、光吸収体の設計を容易に行うことができると共に、光吸収体の膜厚分布に対応する高精度の3次元レジストパターンを得ることができる。

【0051】さらに、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、3次元形状のレジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光が透過する方向の密度分布を変化させた光吸収体を用いている。これによって、光吸収体の設計を容易に行うことができると共に、光吸収体の密度分布に対応する高精度の3次元レジストパターンを得ることができる。

【0052】またさらに、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、可視光領域から赤外光領域で用いる広波長範囲レンズを得ることができる。

【0053】また、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、レジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視パターンを有する光吸収体を用いている。これによって、この巨視パターンに対応する巨視形状を有するレジストパターンを形成し、さらに巨視形状に対応する高精度の巨視構造を有する光学素子を得ることができる。

【0054】さらに、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、3次元形状のレジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光学素子が対象とする光の波長以下の微細パターンを有する光吸収体を用いている。この光吸収体に形成した微細パターンによって、対応する微細形状を有するレジストパターンを形成することができる。さらに、次のエッチング工程で上記微細形状を有するレジストパターンをマスクとしてエッチングすることで、レンズ表面に反射防止効果を有し、光学素子が対象とする光の波長以下の微細構造を形成することができる。

【0055】またさらに、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、レジストパターンを形成する工程において、光吸収体として、光学素子が対象とする光の波長より大きい巨視パターン内に、対象とする光の波長以下の微細パターンを重畳させた重畳パターンを有する光吸収

体を用いている。この重畳パターンを有する光吸収体を用いて、X線リソグラフィ法により、該重畳パターンに対応した重畳形状を有する前記レジストパターンを形成することができる。次いで、エッチングの工程において、重畳形状に対応して、光学素子の表面に、対象とする光の波長より大きい巨視構造内に対象とする光について反射防止効果を有し、対象とする光の波長以下の微細構造を重畳させた重畳構造を形成することができる。

【0056】また、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、微細パターンは、対象とする光の波長以下の周期を有する。これによって、光学素子の表面に対象とする光について反射防止効果の高い微細構造を形成することができる。

【0057】さらに、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、レジストパターンの形成に、0.1nm以上、且つ、5nm以下の範囲内の光を用いることで高精度のレンズ形状や微細構造を形成することができる。

【0058】またさらに、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、少なくとも一方の光学面は、光学素子の光入射面または光出射面である。このため、例えば、光学素子部材の両面について光学面の形成を行って両面レンズを作成できる。なお、両面レンズとすることで、片面レンズの場合に比べて片面部分の厚さを薄くできる。

【0059】また、本発明に係る光学素子の製造方法によれば、高精度のレンズ形状や微細構造を有するレンズ、プリズム、フレネルレンズ、反射型レンズ等を得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1に係る光学素子の製造方法の各工程を示す工程図である。

【図2】 本発明の実施の形態1に係る光学素子の製造方法のレジストパターンを形成する工程におけるX線リソグラフィ法の詳細を示す図である。

【図3】 本発明の実施の形態2に係る光学素子の製造方法のレジストパターンを形成する工程におけるX線リソグラフィ法の詳細を示す図である。

【図4】 本発明の実施の形態3に係る光学素子の製造方法の各工程を示す工程図である。

【図5】 本発明の実施の形態4に係る光学素子の製造方法の各工程を示す工程図である。

【図6】 本発明の実施の形態4に係る光学素子の製造方法により製造された片面凸レンズの断面図である。

【図7】 図6の片面凸レンズの表面に形成された微細構造と同様の微細構造を表面に形成したシリコン板の透過率のグラフである。

【図8】 本発明の実施の形態4に係る光学素子の製造方法において、光吸収体と光学素子部材との間の間隔を変化させた場合の光吸収体パターンとX線強度の関係を示すグラフである。

【図9】 本発明の実施の形態4に係る光学素子の製造

方法において、光吸収体膜厚を変化させた場合の光吸収体パターンとX線強度の関係を示すグラフである。

【図10】 本発明の実施の形態5に係る光学素子の製造方法の各工程を示す工程図である。

【図11】 本発明の実施の形態6に係る光学素子の製造方法の各工程を示す工程図である。

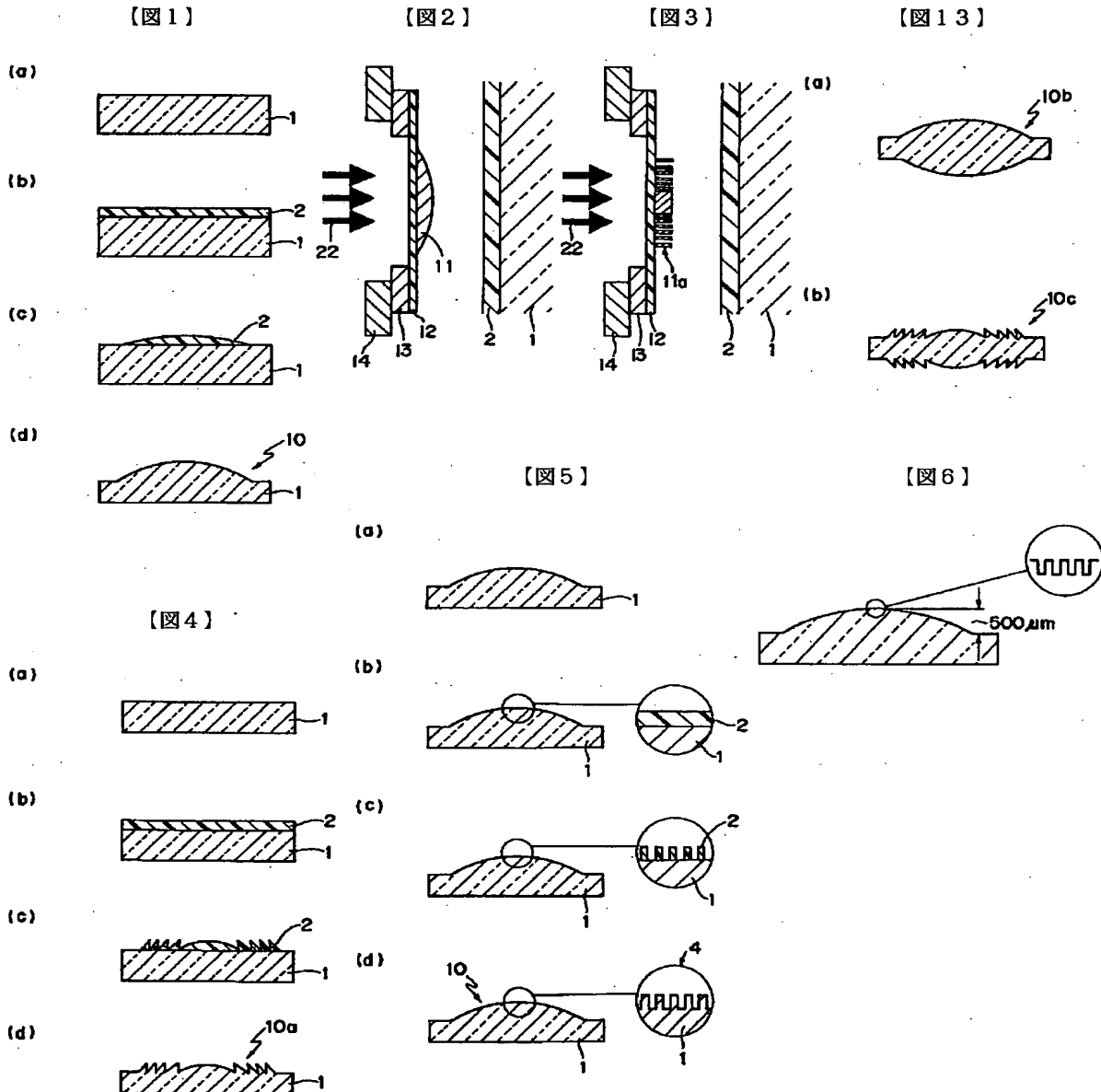
【図12】 本発明の実施の形態7に係る光学素子の製造方法の各工程を示す工程図である。

【図13】 (a)は、本発明の実施の形態8に係る光学素子の製造方法によって両面を形成された両面レンズ\*10

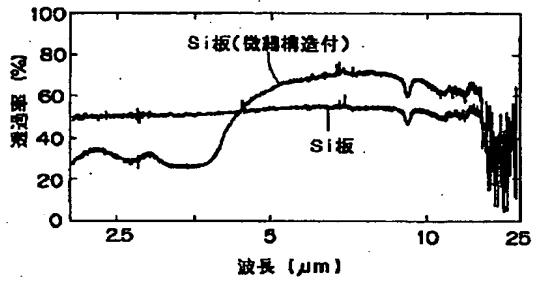
\*の断面図であり、(b)は、両面にフレネルレンズを形成された両面フレネルレンズの断面図である。

【符号の説明】

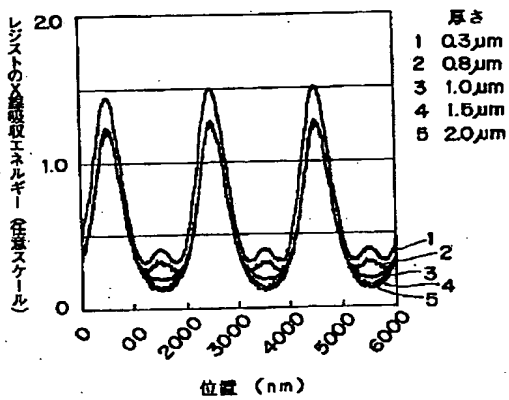
1 レンズ材料（光学素子部材）、2 レジスト膜、4 微細構造、10、片面レンズ、10a 片面フレネルレンズ、10b 両面レンズ、10c 両面フレネルレンズ、11、11a 光吸収体、12 メンブレン、13 シリコン、14 サポートリング、20 X線マスク、22 X線



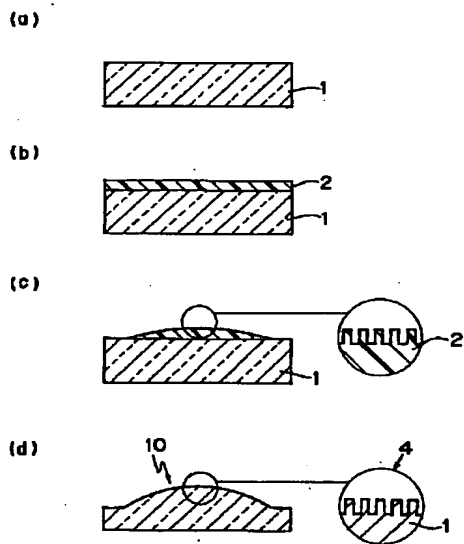
【図7】



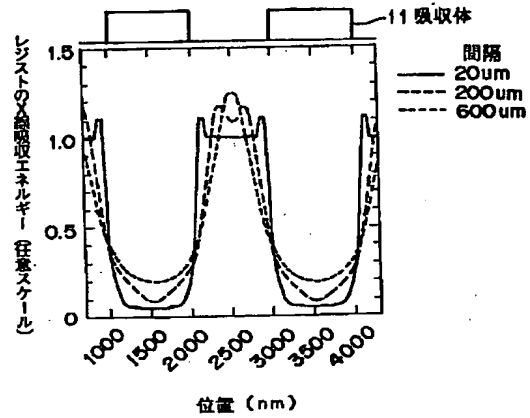
【図9】



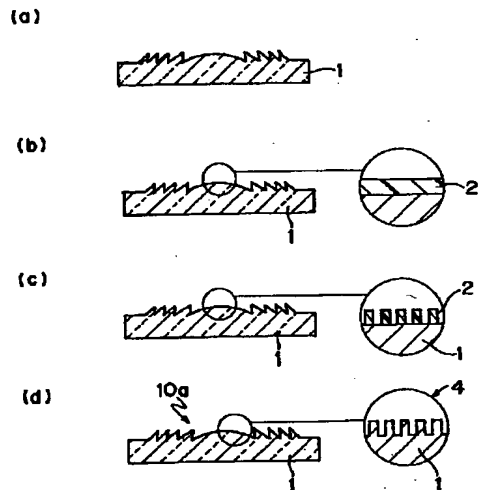
【図11】



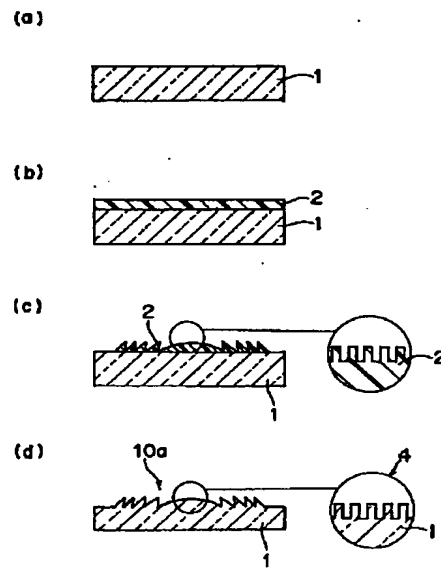
【図8】



【図10】



【図12】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	ターム(参考)
G 0 2 B 5/18		G 0 2 B 5/18	
// G 0 3 F 7/40	5 2 1	G 0 3 F 7/40	5 2 1

(72)発明者 丸本 健二  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
 菱電機株式会社内

(72)発明者 綾 淳  
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
 菱電機株式会社内

F ターム(参考) 2H042 BA03 BA13 BA15  
 2H049 AA04 AA33 AA37 AA44 AA45  
 AA63  
 2H096 AA00 AA28 EA07 EA30 HA14  
 JA04  
 2H097 CA13 FA09 LA15